



⑯ Aktenzeichen: 100 11 820.8  
⑯ Anmeldetag: 10. 3. 2000  
⑯ Offenlegungstag: 13. 9. 2001

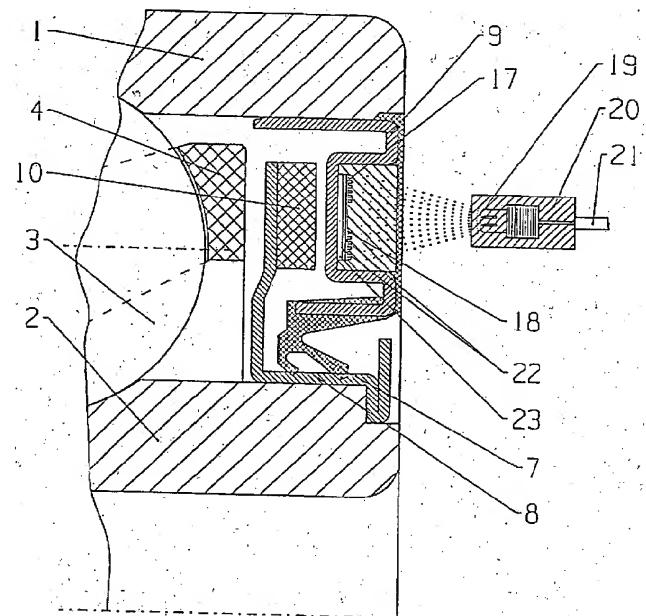
⑯ Anmelder:  
FAG Automobiltechnik AG, 97421 Schweinfurt, DE

⑯ Erfinder:  
Weser, Markus, 22393 Hamburg, DE; Binder, Josef, Prof. Dr., 27726 Wörpswede, DE; Hassiotis, Vasilis, 81737 München, DE; Hofmann, Heinrich, 97422 Schweinfurt, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑯ Messeinrichtung für Wälzlager

⑯ Ziel dieser Messeinrichtung ist es die Drehzahl eines Wälzlagers über mehrere Millimeter Luftstrecke durch einen externen Sensor 19 zu erfassen, ohne dass Kabel zur Stromversorgung oder Datenübertragung am Wälzlagern angeordnet sind. Die Aufgabe wird durch die magnetische Kopplung zweier Spulen 18, 19 erreicht, wobei ein am drehenden Teil 2 des Wälzlagers angeordneter magnetischer Encoder 10 eine Induktivitätsänderung in der Spule 18, die am Wälzlagern angebracht ist, bewirkt. Diese Induktivitätsänderung wird von der externen Spule erfasst.



## Beschreibung

den.

## Gebiet der Erfindung

## Aufgabe der Erfindung

Die Erfindung betrifft die Messeinrichtung für Wälzlager nach dem Oberbegriff des Anspruches 1.

## Hintergrund der Erfindung

Die Drehzahlerfassung zwischen stehendem und rotierendem Lauftring in einem Wälzlager ist schon seit langem Stand der Technik. Hierbei gibt es verschiedene Prinzipien der Drehzahlerfassung.

So wird die Drehzahl beispielsweise über Einrichtungen, die am Wälzlager angeordnet sind erfasst und die ermittelten Daten werden über Kabel zur Datenauswertung weitergeleitet. Diese Kabel sind dann direkt am Wälzlager angebracht. (FAG Rillenkugellager mit integriertem Sensor, FAG TI Nr. WL 43-1206 D) So gibt es auch Einsatzfälle, bei denen diese direkt am Wälzlager angebrachten Kabel stören und deshalb die Drehzahl über extern angeordnete Sensoren erfasst wird. Ein Einsatzbeispiel für eine externe Anordnung von Sensoren ist das Radlager. Um mehr konstruktive Freiheiten um das Radlager zu bekommen, werden die Sensoren immer weiter von dem Radlager entfernt angebracht. In der DE 196 44 744 A1 wird die Drehzahl über einen Halleffektsensor erfasst. Hierbei dreht sich der magnetische Encoder hinter einer feststehenden nicht ferromagnetischen Scheibe. Der Halleffektsensor ist außerhalb des Wälzlers angeordnet. Der maximale Abstand, der mit einer solchen Anordnung problemlos überbrückt werden kann beträgt maximal 3 mm. Auch vergleichbare Meßprinzipien wie MR (magnetoresistive Sensoren) oder GMR (Gigant magnetoresistive Sensoren) erreichen nur Übertragungsabstände in Luft von bis zu 3 mm. Sind größere Abstände zwischen Encoder und Halleffektsensor zu überbrücken, funktionieren diese Systeme nicht mehr betriebssicher.

In der DE 196 32 345 A1 sind unter anderem auch ein Telemetriesender und Telemetrieempfänger gezeigt. Die übertragbare Entfernung, die mit diesem System erreicht werden kann, hängt im wesentlichen von der eingesetzten Sendeleistung des Senders ab. Diese Telemetriesender- und Telemetrieempfängereinheiten sind aufwendig gebaut, da diese für die Stromversorgung der aktiven Systeme auf der Empfängerseite die Energie zur Verfügung stellen müssen. Diese Energie wird mit elektromagnetischen Wellen vom Sender außerhalb des Wälzlers zum aktiven Messsystem am Wälzler übertragen, mit einer Antenne empfangen, gleichgerichtet, gespeichert und dem aktiven Sensor zugeführt. Die Messwerte werden dann zum Telemetrieempfänger außerhalb des Lagers zurückgeschickt.

Im Aufsatz Microcoil Speed and Position Sensor for Automotive Applications, (MME '96, Micromechanics Europe, 21-22 October 1996, Barcelona, Spain) wird ein Sensorsystem gezeigt, das auf planaren Spulen aufbaut. Bei dieser Anwendung dreht ein magnetischer Encoder, und die Drehzahl sowie Drehrichtung werden über die planaren Minispulen erfasst. Diese beiden Spulensysteme sind zusammen angeordnet und magnetisch gekoppelt. Das Problem dieser Anordnung ist, dass das erste Spulensystem zur Energieversorgung genutzt wird und das zweite Spulensystem das Drehzahlsignal zur Verfügung stellt. Aufgrund dieser Konstellation müssen beide Spulensysteme an Kabel angeschlossen werden. Der maximale Abstand der zwischen dem Magneten und der Spule, die die Drehzahl erfasst, beträgt nur wenige mm. Um die Drehzahlimpulse in einem Wälzler zu erfassen, muss deshalb der Sensor (bzw. die beiden Spulensysteme) sehr nahe am Wälzler angeordnet wer-

5 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Sensorsystem aufzuzeigen, mit dem die aktuelle Drehzahl des Wälzlers berührungslos über mehrere Millimeter Entfernung fehlerfrei erfasst werden kann und das aus einfachen Elementen aufgebaut ist.

10

## Beschreibung der Erfindung

Die Aufgabe wird durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil des Anspruches 1 gelöst. Die Ansprüche 2 bis 7 beschreiben vorteilhafte Ausführungsvarianten.

Die Vorteile dieser Messeinrichtung bestehen darin, dass nur die Induktivitätsänderung der Spule bzw. Mikrospulenschwingkreis am Wälzler vom externen Sensor erfasst wird. Die Energie, die vom Schwingkreis am Wälzler benötigt wird, um als Schwingkreis zu arbeiten wird vom externen Sensor über die magnetische Kopplung zur Verfügung gestellt. Da der Schwingkreis am Wälzler nur den Bruchteil der Energie der aktiven Messsysteme im Stand der Technik benötigt, kann die Drehzahlerfassung so mit ein-

20 fachsten Mitteln bis über mehrere Millimeter hinweg realisiert werden. Der externe Sensor kann unabhängig vom Wälzler angeordnet werden, und direkt am Wälzler sind keine Kabel angebracht, die bei der Handhabung stören könnten. Eine Energieversorgung in Form einer Batterie wird auch nicht benötigt. Durch den drehenden magnetischen Encoder mit seinen Nord- und Südpolen wird die Induktivität der Spule im stationär angeordneten Mikrospulenschwing-

25 kreis angeordnet. Dieser zweite Mikrospulenschwingkreis wird mit einer Frequenz von > 5 MHz angesteuert. Durch die Veränderung der Induktivität der Spule im Mikrospulenschwingkreis am Wälzler wird die Gesamtinduktivität des Spulensystems verändert. Das Drehzahlsignal wird dann über eine Strom- oder Spannungsänderung oder Phasenverschiebung an der externen Spule ermittelt, wobei die Hüllkurve der ansteuernden Frequenz ausgewertet wird.

Der mathematische Zusammenhang ist durch die Grundgleichungen eines einfachen Spulensystems gegeben:

30

35

40

45

Der mathematische Zusammenhang ist durch die Grundgleichungen eines einfachen Spulensystems gegeben:

$$U = j\omega L_1 I_1 + j\omega M_{12} I_2$$

Aus dieser Formel geht hervor, dass die Veränderung der Induktivität einer Spulenseite (hier am Wälzler), bei sonst konstanten Größen, zur Veränderung der Spannung an der anderen Spulenseite (hier im Sensor) führt.

Das heißt, dass die Anzahl der Übergänge zwischen Nord- und Südpol auf dem drehenden Encoder unter der Spule direkt am Wälzler sich im Spannungsverlauf in der Spule des Sensors abbilden. Bei Kenntnis der Nord- und Südpole auf dem Encoderring kann so direkt auf die Drehzahl des Wälzlers geschlossen werden.

60 Gemäß Anspruch 2 werden die Schwingkreise am Wälzler und im externen Sensor an ihrer Resonanzfrequenz betrieben. Dieser Betriebspunkt hat den Vorteil, dass die auszuwertenden Messsignale im Sensor die deutlichsten messbaren Unterschiede im Spannungsverlauf oder Stromverlauf oder Phasenverschiebung aufweisen.

65 Gemäß Anspruch 3 werden die Minispulen in Form von planaren Spulen ausgeführt. Dies hat den Vorteil, dass diese Spulen äußerst flach bauen (10 µm bis 100 µm) und in bekannter galvanischer Additivtechnik oder durch ein Aufdrucken erzeugt werden und direkt auf dem Kondensator

angeordnet sind.

Gemäß Anspruch 4 werden die planaren Mikrospulen so aufgebaut, dass die Streukapazität zwischen den einzelnen Windungen der Spule als Kondensator genutzt wird. Dieser Aufbau hat den Vorteil, dass keine zusätzlichen Kondensatoren eingesetzt werden müssen, um einen Schwingkreis zu erzeugen.

Gemäß Anspruch 5 werden diese Mikroschwingkreise in die stationäre Dichtscheibe, die aus nicht ferromagnetischem Material besteht, integriert und mit einvulkanisiert. Dadurch sind diese Spulen vor äußeren Einflüssen geschützt.

Gemäß Anspruch 6 werden einzelne Mikroschwingkreise in einem engen Abstand gleichmäßig über die Oberfläche der feststehenden nicht ferromagnetischen Dichtscheibe verteilt. Dadurch wird erreicht, dass bei dem Einbau des Wälzlagers die Position des Mikroschwingkreises nicht auf den externen Sensor ausgerichtet werden muß. Das Wälzrad kann aufgrund der vielen Mikroschwingkreise so laufunabhängig eingebaut werden.

Gemäß Anspruch 7 werden die planaren Spulen der Mikroschwingkreise auf weich magnetischem Trägermaterial angeordnet, um die Induktivität der planaren Spule zu erhöhen. Die Einheit aus planarer Spule und Trägermaterial ist auf der nicht ferromagnetischen Dichtscheibe angebracht. Durch diese Anordnung wird die Übertragungsstrecke zwischen dem Mikroschwingkreis am Wälzrad und dem externen Sensor vergrößert.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnung

Die Erfindung wird anhand von mehreren Zeichnungen beschrieben.

In **Fig. 1** wird das grundsätzliche Schaltungsschema der Erfindung dargestellt.

In **Fig. 1a** wird der Verlauf des gemessenen Signals dargestellt.

In **Fig. 2a** werden die wesentlichen Bauteile in perspektischer Darstellung gezeigt.

In **Fig. 2b** wird die Anordnung mehrerer planaren Spulen gezeigt.

**Fig. 3** zeigt ein Konstruktionsbeispiel der erfundungsgemäßen Drehzahlmesseinrichtung mit drehendem Außenring.

In der **Fig. 3a** ist die Spule mit Kondensator in die Dichtscheibe dargestellt.

**Fig. 4** zeigt ein Konstruktionsbeispiel mit drehendem Innenring.

Die **Fig. 4a** zeigt den Aufbau der planaren Spule.

#### Ausführliche Beschreibung der Zeichnung

In **Fig. 1** wird das Schaltungsschema der erfundenen Messeinrichtung gezeigt. Die zwei Spulen bzw. die Mikroschwingkreise (externer Schwingkreis **19**, Mikrospulenschwingkreis am Wälzrad **13**) sind über das Medium Luft gekoppelt, wobei die Induktivität der Spule **L<sub>2</sub>**, die auf der Dichtscheibe des Wälzlagers angeordnet ist, durch den rotierenden magnetischen Encoder geändert wird. Die Spule **L<sub>1</sub>**, die sich im externen Sensor befindet, wird mit einer Frequenz > 5 MHz angesteuert. Über die magnetische Kopplung **M<sub>12</sub>** bewirkt die Induktivitätsänderung der Spule **L<sub>2</sub>** eine Änderung des Stromes **i<sub>1</sub>** und der Spannung **u<sub>1</sub>** in der Spule **L<sub>1</sub>**. Deutlich wird an diesem Schaltungsschema, dass die Spule **L<sub>2</sub>** ohne eine Spannungsversorgung auskommt. In **Fig. 1a** ist der graphische Verlauf des elektrischen Signals, das zur Auswertung der Drehzahl des Wälzlagers genutzt wird, gezeigt. Die Induktivitätsänderung der Spule **L<sub>2</sub>** ist im

Signalverlauf der Hüllkurve sichtbar. Der sinusförmige Spannungsverlauf entspricht der angesteuerten Frequenz.

In der **Fig. 2a** wird die Anordnung der wesentlichen Bauteile zur Drehzahl erfassung dargestellt. Das Wälzrad ist in dieser Darstellung nicht gezeigt. Der Encoder **10**, der am drehenden Teil des Wälzlagers angeordnet ist, enthält in seiner Oberfläche eine Vielzahl von Nord- und Südpolen. Diese Pole drehen unter der am stehenden Ring des Wälzlagers angeordneten planaren Spule **18** und bewirken die Induktivitätsänderung der Spule **18**. In dieser Darstellung ist nur eine planare Spule **18** auf dem Teil **9** gezeigt. Diese planare Spule **18** muss auf die externe Spule **19** lagemäßig im Einbaufall ausgerichtet werden. Die externe Spule **19** ist in dem Gehäuse **20** angeordnet und ist über Kabel **21** angelassen.

In der **Fig. 2b** sind als einziger Unterschied zu **Fig. 2a** viele planare Spulen **18** auf dem Teil **9** angeordnet. Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, dass diese über den Umfang gleichmäßig verteilten Spulen **18** bei der Montage des Wälzlagers nicht auf den externen Schwingkreis **19** ausgerichtet werden müssen, da bei jeder Winkellage eine Spule **18** in Richtung des externen Schwingkreises **19** im extern angeordneten Sensor **20** steht.

In der **Fig. 3** wird ein Wälzrad im Schnitt parallel zur Rotationsachse dargestellt. Zwischen dem feststehenden Innenring **2** und dem rotierenden Außenring **1** sind die Wälzkörper **3**, die im Käfig **4** geführt werden, angeordnet. Am rotierenden Außenring ist über das Teil **5** der rotierende Encoder **10** angebracht. Der Encoder **10** wird über verschiedene Dichtungen **7**, die am Teil **6** befestigt sind, vor Verschmutzung geschützt. Das Teil **6** ist aus nicht ferromagnetischem Material gefertigt und ist gleichzeitig der Träger für die Spule **15**. Die Spule **15** ist gegenüber dem Träger **6** elektrisch isoliert. Im Beispiel ist die Spule **15** von dem auf vulkanisierten Material der Dichtung umgeben und so vor Verschmutzung geschützt. Der externe Schwingkreis **19** ist im Gehäuse **20** angeordnet. Dieser wird über die Kabel **21** mit der Energieversorgung und Auswerteelektronik verbunden. In der **Fig. 3a** wird ein Beispiel des Schwingkreises, der aus Spule **15** mit Eisenkern und Kondensator **14** besteht, gezeigt. Unter der Spule **15** dreht sich der magnetische Encoder **10** und verändert so das Magnetfeld und damit die Induktivität der Spule **15**. Der externe Sensor **20** ist in diesem Bild nicht gezeigt. Aus diesem Beispiel geht hervor, dass auch nicht planare Spulen eingesetzt werden können.

In der **Fig. 4** wird die gleiche Anordnung wie in **Fig. 3** gezeigt, wobei der Unterschied darin besteht, dass in diesem Anwendungsfall der Außenring **1** steht und der Innenring **2** rotiert. Demzufolge ist der Encoder **10** nun über das Teil **8** mit dem Innenring **2** verbunden. Die planare Spule **18** ist auf weich ferromagnetischem Trägermaterial **17** aufgebracht, diese Einheit ist auf dem nicht ferromagnetischen Dichtungsteil **9** angeordnet. Der Außenring **1** ist mit dem Dichtungsteil **9** verbunden. Das weich ferromagnetische Trägermaterial erhöht die Induktivität der planaren Spulen **18**. In der **Fig. 4a** wird die Einzelheit der planaren Spule in einer dreidimensionalen Darstellung gezeigt. Ein möglicher Schichtaufbau unter der planaren Spule ist dargestellt. Die gestrichelten Linien **24** zeigen die elektrische Verbindung zu Flächen, die als Kondensatorfunktion genutzt werden.

#### Bezugszeichenliste

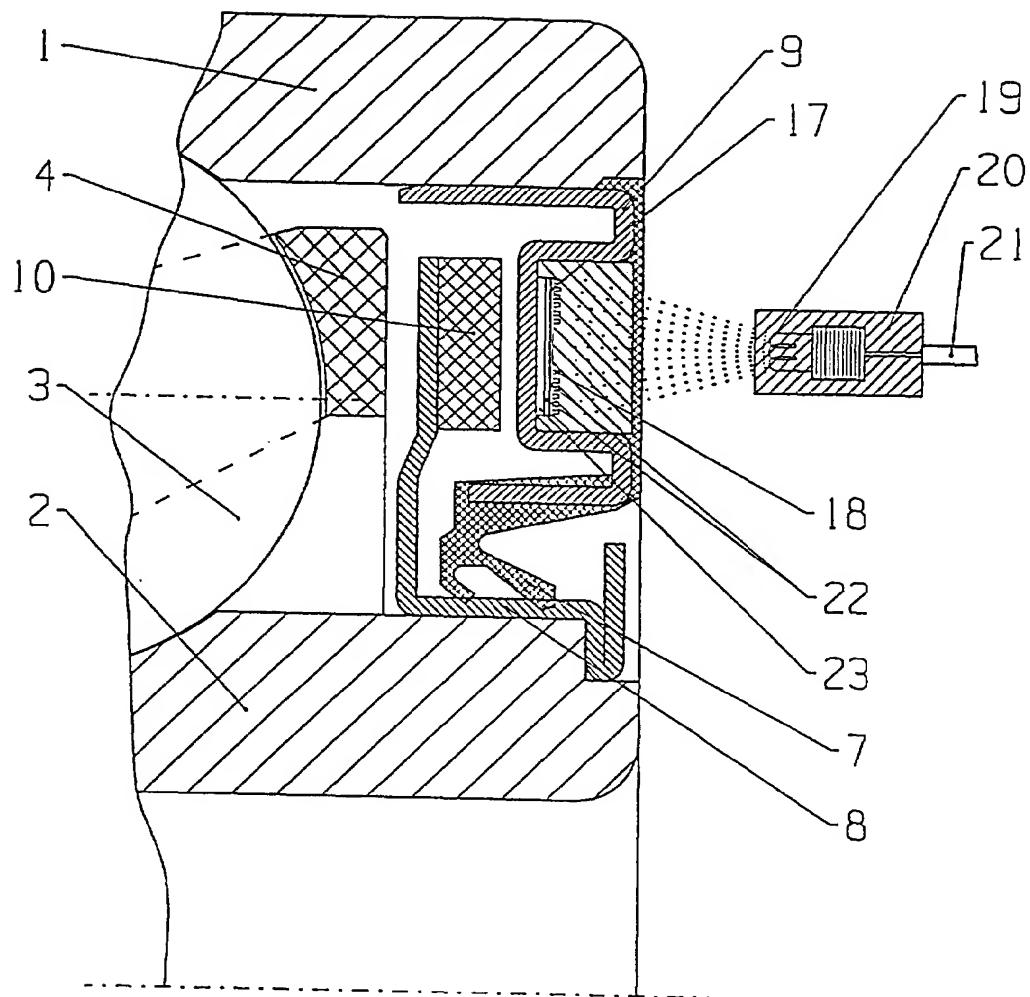
- 1** Außenring
- 2** Innenring
- 3** Wälzkörper
- 4** Käfig
- 5** Drehendes Dichtungsteil

6 Stehendes nicht ferromagnetisches Dichtungsteil		
7 Dichtlippen		
8 Drehendes Dichtungsteil		
9 Stehendes nicht ferromagnetisches Dichtungsteil		
10 Magnetischer Encoder	5	
11 Aufvulkanisiertes Material		
13 Mikrospulenschwingkreis am Wälzlagcr		
14 Kondensator		
15 Spule am Wälzlagcr mit Eisenkern		
16 Dielektrikum	10	
17 Weich magnetisches Trägermaterial		
18 Planare Spule		
19 Externer Schwingkreis		
20 Gehäuse		
21 Elektroanschluß der externen Spule	15	
22 Isolationsschicht		
23 Trägermaterial der planaren Spule		
24 Elektrische Verbindung zur Kondensatorfunktion		

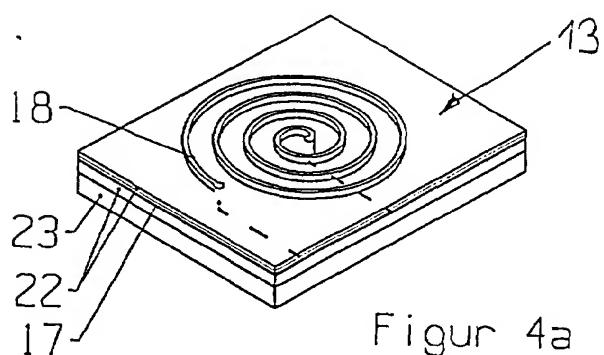
Patentansprüche	20
-----------------	----

1. Messeinrichtung für Wälzlagcr bestehend aus einem am rotierenden Laufring angeordneten drehenden magnetischen Encoder (**10**) mit mehreren Nord- und Südpolen, der mit einer nicht ferromagnetischen Scheibe (**6, 9**) abgedeckt ist und dessen magnetischen Impulse von einem externen Sensor abgetastet werden, dadurch gekennzeichnet, dass an der nicht ferromagnetischen Scheibe (**6, 9**) mindestens ein Mikrospulenschwingkreis (**13**), bestehend aus Minispule (**15, 18**) und Kondensatorfunktion, angeordnet ist, wobei der drehende magnetische Encoder (**10**) in der Minispule (**15, 18**) eine Induktivitätsänderung bewirkt, die von der gekoppelten Spule (**19**) im Schwingkreis des externen Sensors (**20**), der mit einer Frequenz > 5 MHz schwingt, erfasst wird.
2. Messeinrichtung für Wälzlagcr gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikrospulenschwingkreis (**13**) auf dem Wälzlagcr und der Schwingkreis (**19**) im externen Sensor (**20**) die gleiche Resonanzfrequenz haben.
3. Messeinrichtung für Wälzlagcr gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Minispulen in Form von planaren Spulen (**18**) ausgeführt sind, die direkt auf den ebenfalls planaren Kondensatoren angeordnet sind.
4. Messeinrichtung für Wälzlagcr gemäß Anspruch 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Kondensator die Streukapazität der planaren Minispule (**18**) genutzt wird.
5. Messeinrichtung für Wälzlagcr gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrospulenschwingkreise in der Dichtscheibe (**6, 9**) des Wälzlagcrs einvulkanisiert sind.
6. Messeinrichtung für Wälzlagcr gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dichtscheibe (**6, 9**) aufgrund der im Umfang gleichmäßig angeordneten Mikrospulenschwingkreise (**15, 18**) im Bezug auf den externen Sensor (**20**) lageunabhängig eingebaut werden kann.
7. Messeinrichtung für Wälzlagcr gemäß Anspruch 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass die planaren Mikrospulenschwingkreise (**18**) in weichmagnetisches Material (**17**) integriert sind.

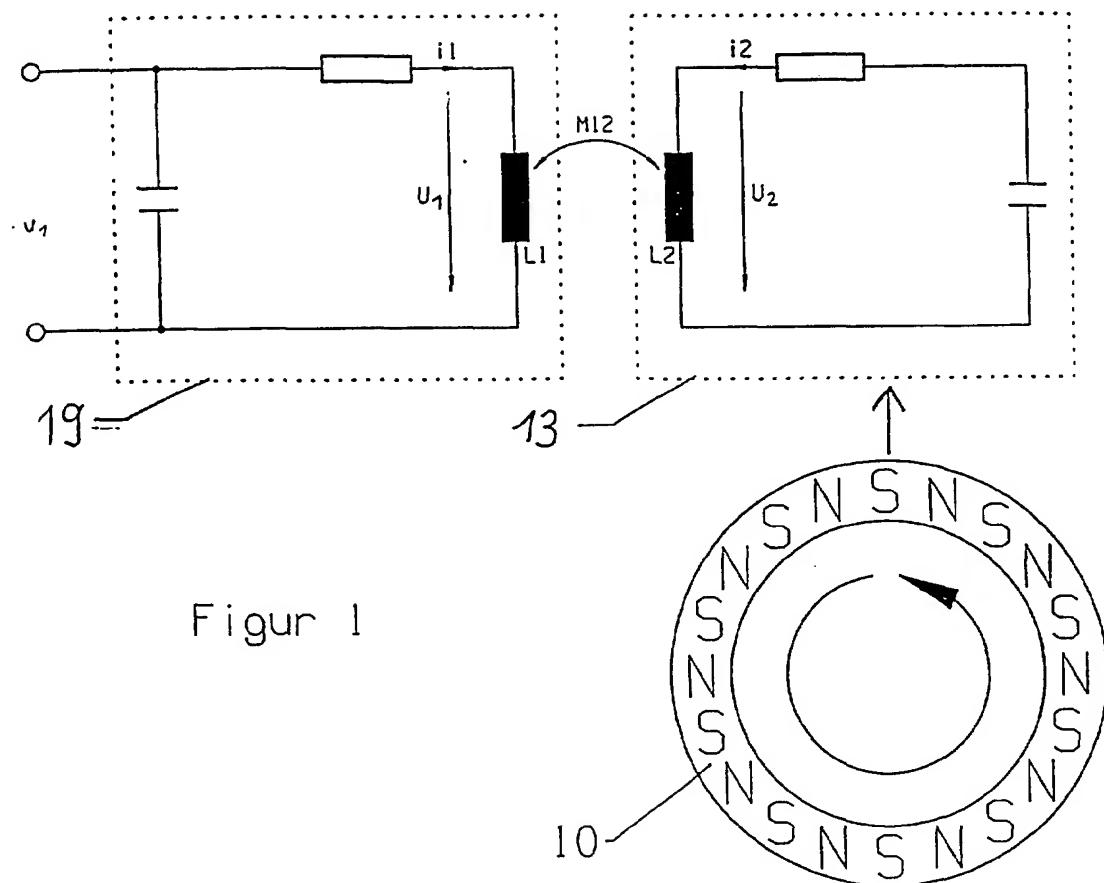
**- Leerseite -**



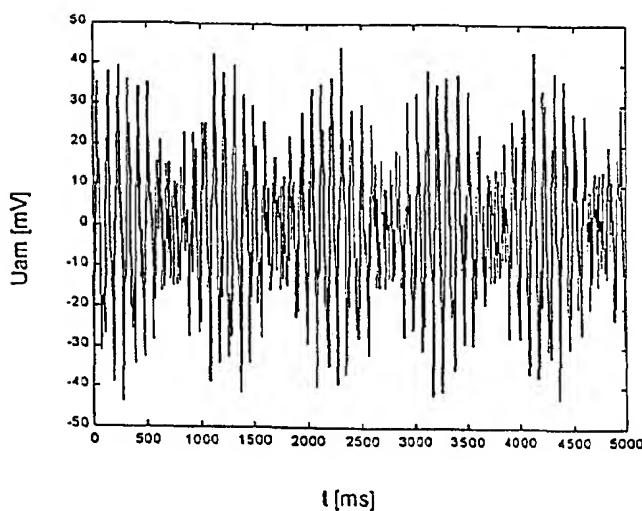
Figur 4



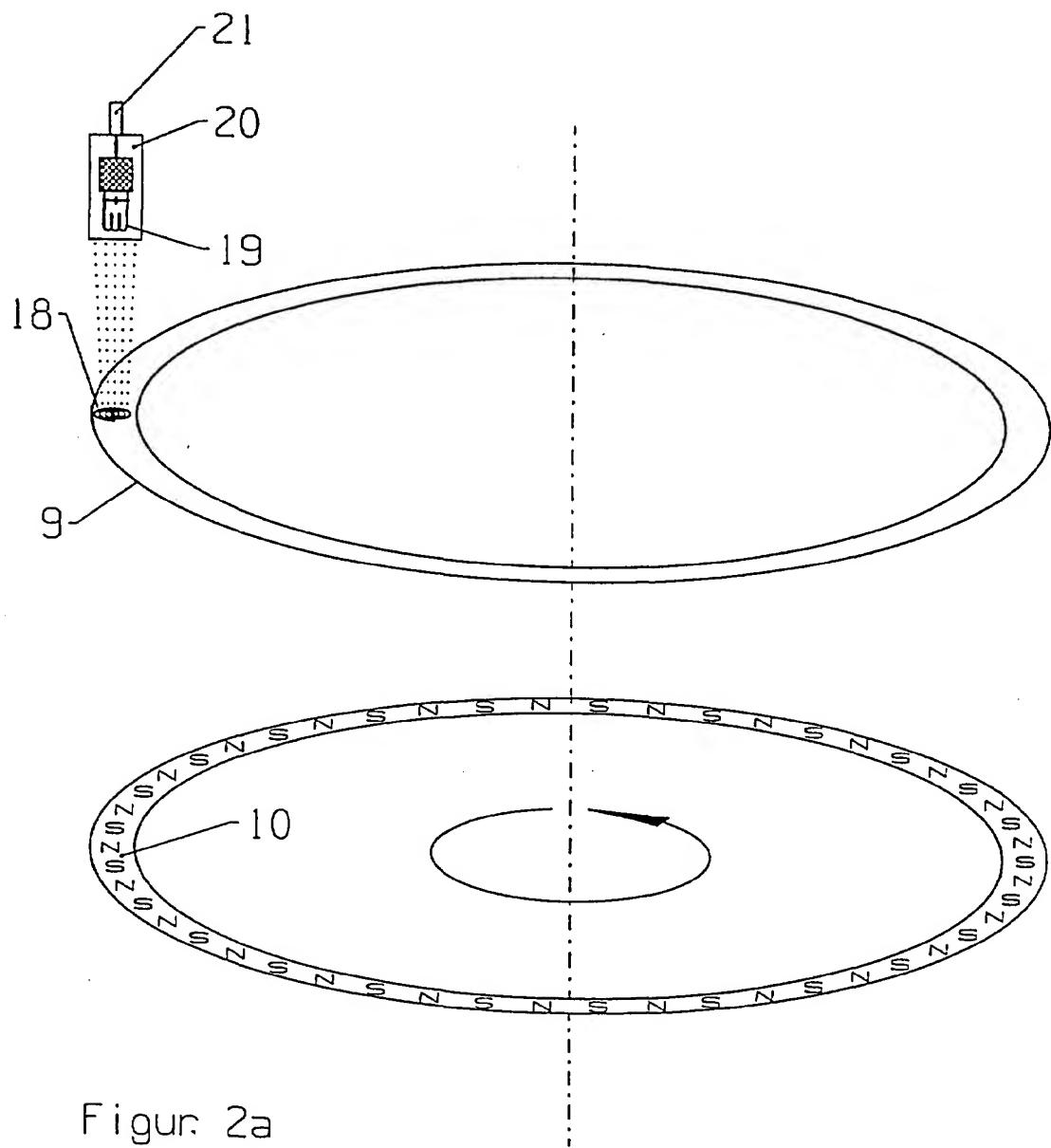
Figur 4a

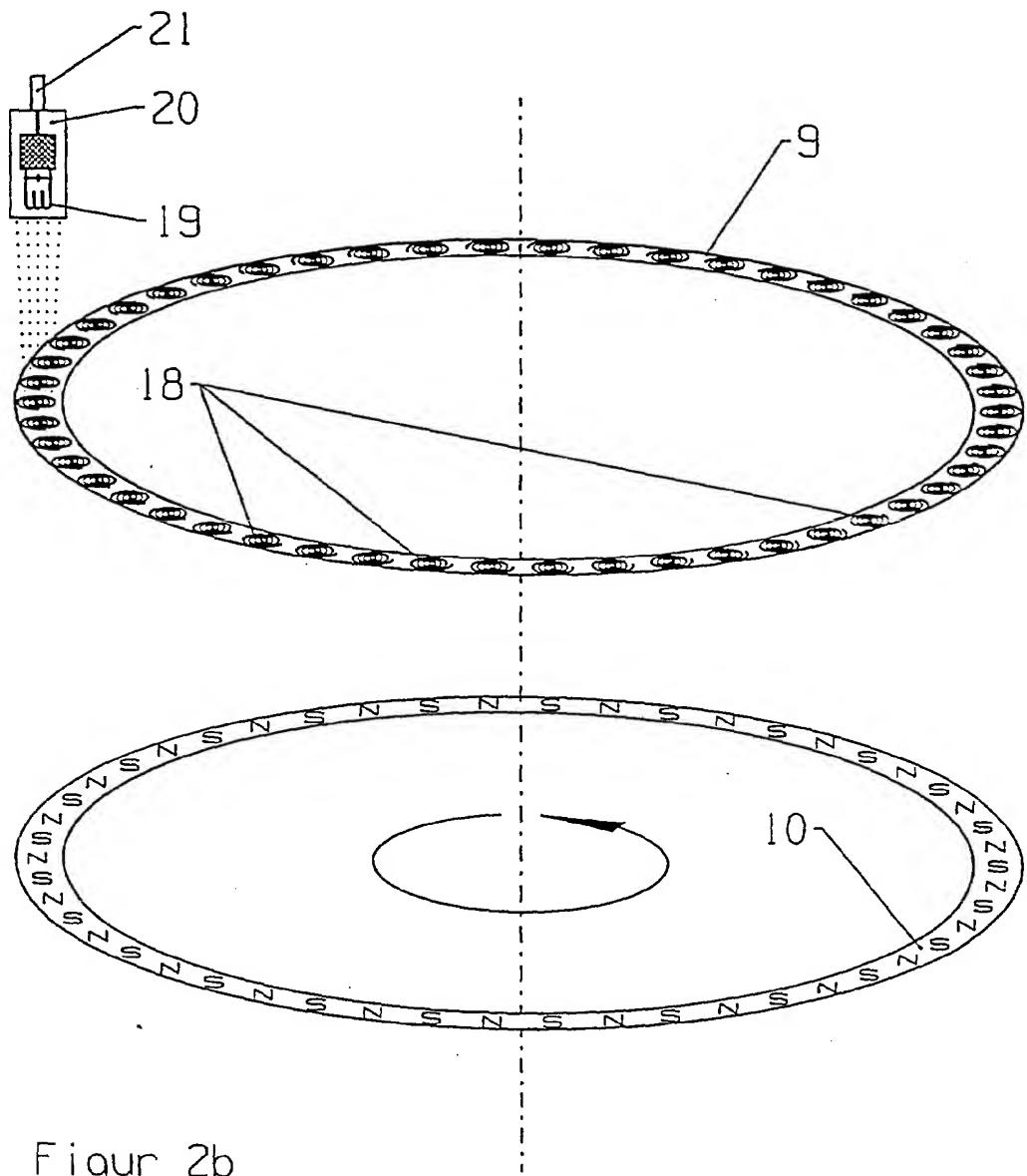


Figur 1

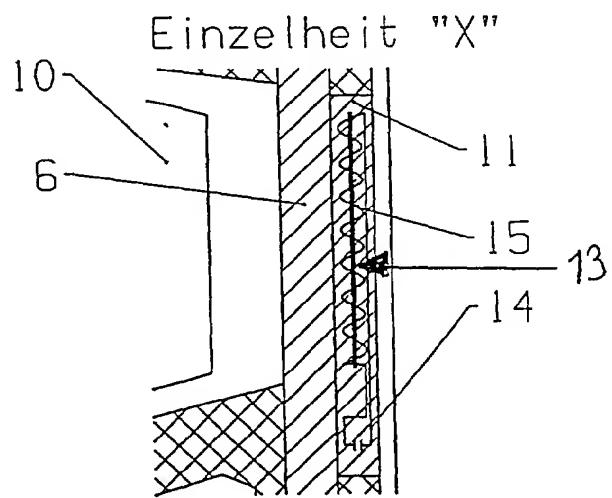
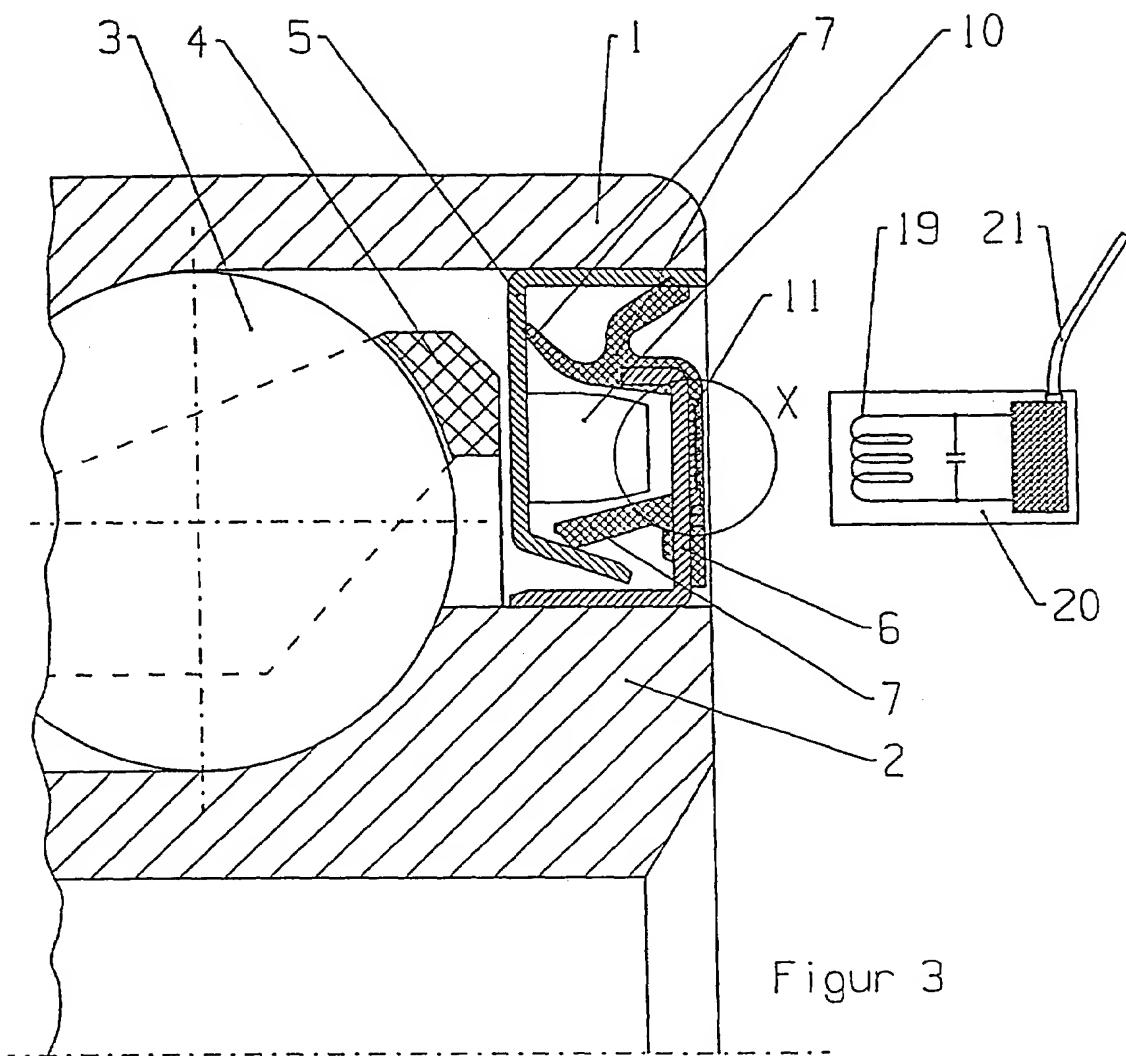


Figur 1a





Figur 2b



Figur 3a